ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАЗВИТИЯ ДЛИТЕЛЬНЫХ ОСАДОК ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

ВАСЕНИН В.А.
Заместитель генерального директора ООО «ПИ Георeконструкция», к.т.н., г. Санкт-Петербург
vavasenin@mail.ru

Аннотация
В статье представлены результаты основных нивелирных работ, выполненных в исторической части г. Санкт-Петербурга с 1779 года. Рассмотрена построенная система их привязок к единому исходному уровню. Приведены предварительные результаты оценки развития длительных осадок исторических зданий в г. Санкт-Петербурге (за период длительностью 92---131 год)

Ключевые слова
Санкт-Петербург; основные нивелирные работы; городская нивелирная сеть; длительные осадки; исторические здания; отметка геодезического пункта; система привязок

Введение

Вопросы оценки осадок существующих исторических зданий представляют большой практический интерес как для исследований длительной ползучести грунтов их оснований, так и для обеспечения их нормальной эксплуатации. Очевидно, что для подавляющего большинства этих зданий нет результатов наблюдений с начала их строительства, тем более что многие из них являются ровесниками Кронштадтского футштока или даже старше него.

Большинство грунтовых оснований исторических зданий должно находиться на стадии установившейся («вековой») ползучести. Для оценки их длительных осадок целесообразно прибегнуть к результатам повторных нивелировок геодезических марок и стенных реперов местной геодезической сети [7, 19, 20].

Поэтому в соответствии с целями и задачами исследований были рассмотрены следующие вопросы [1]:

- об исходных нивелирных пунктах основных городских нивелировок;
- о развитии и трансформации городской нивелирной сети;
- об устойчивости исходных пунктов нивелировки (нуль-пункта Кронштадтского футштока) в региональном плане;
- о современных вертикальных движениях земной коры в региональном плане (анализ современных региональных карт вертикальных движений земной коры);
- о результатах связи нуль-пункта Кронштадтского футштока с Ораниенбаумским (Ломоносовским) берегом;
- о результатах связи Ораниенбаумского (Ломоносовского) берега с основными городскими нивелирными пунктами;
- о соотношениях между различными исходными уровнями, использовавшимися при нивелировках на территории города.

Работы по нивелированию

Чтобы достичь поставленных целей, автором были собраны и изучены все каталоги основных городских нивелирных работ за 220-летний период с 1779 года. За период 1779---2003 годов в г. Санкт-Петербурге были выполнены следующие основные нивелировки:

1) *фон Баура в 1779 году* (в каталоге указано 719 станций) -- составление плана города, инженерная подготовка территории для защиты от наводнений;
2) *капитана Савицкого в 1872---1874 годах* (более 2000 нивелирных знаков) -- составление топографического плана города для проекта канализации города;
3) *Гейнца в 1892 году* (57 пунктов) -- сравнение нулей футштоков на р. Неве;
4) *профессора Витрама в 1892 году* -- закладка марок на основных вокзалах, привязка нуля нивелировки Савицкого;
5) *Грибоедова, Иванина в 1900, 1910 годах* -- составление топографического плана Крестовского, Елагина и Каменного островов;
6) *профессора Сергиевского в 1911 году* (порядка 1000 знаков) -- составление топографического плана города для проекта канализации;
7) *Гуреева в 1927 году* (145 знаков) -- разработка проекта канализации Васильевского острова;
8) *Северного окружного геодезического управления (СООГГУ) в 1927---1932 годах* (более 2500 знаков) -- для потребностей строительства;
9) *Треста геодезических работ и инженерных изысканий (ГРИИ) в 1953---1956 годах* (4800 знаков);
10) *Треста ГРИИ в 1966---1968 годах* (6000 знаков);
11) *Треста ГРИИ в 1982---1986 годах* (8000 знаков);
12) *Треста ГРИИ в 2003---2009 годах* (более 11000 знаков).

Собранные каталоги были автором оцифрованы и ранжированы в хронологическом порядке. В результате была получена верхнетреугольная матрица большой размерности, состоящая из абсолютных отметок геодезических пунктов. Для построения графиков осадок нужно было специальным образом привести эти отметки к единому уровню. Имея графики осадок по всем маркам, можно надежно провести все верификационные процедуры, поскольку выводы, сделанные для одной строки матрицы, должны быть справедливы и для другой (в пределах рассматриваемой типовой исторической застройки -- 2---7-этажных зданий на слабых грунтах).

Для целей нивелирования территории Санкт-Петербурга и его ближайших окрестностей необходимо рассмотреть результаты нивелирных связей нуль-пункта Кронштадтского футштока (НКФ) с исходными нивелирными пунктами, располагающимися в границах города. Можно заметить, что за почти 220-летнюю историю для целей городских нивелировок использовались различные исходные нивелирные пункты.

Проводя классификацию различных исходных уровней для нивелировок в городской черте и пригородах, можно выделить несколько групп исходных уровней.

Исходные уровни нивелирования

Ординары р. Невы. Для производства нивелирных работ в г. Санкт-Петербурге в XIX в. в качестве исходных уровней принимались ординары* р. Невы (табл. 1). Выбор за исходные пункты уровней реки Невы для нужд города был очевидным, поскольку город с момента начала его

* Ордина́р -- средний многолетний уровень воды в реках, заливах, являющийся исходной величиной для отсчета отклонений от нормы. -- *Ред.*

строительства подвергался весьма серьезным наводнениям и было необходимо решать вопросы проведения инженерной подготовки территории строительства и создания инженерных сооружений, строительства зданий и набережных выше уровня возможного подтопления.

Табл.1.

Высоты и ординары р. Невы и выполнявшиеся нивелировки [4, 5, 8, 19]

Наименование ординара	Высота над НКФ, м	Год связи с НКФ	Исполнитель нивелировки, год ее проведения
Ординар Невы у Главного Адмиралтейства	0,406 0,453	1892 1947	Баур, 1779 г.
Максимальный уровень подъема воды при наводнении 1777 г.	3,530 3,577	1892 1947	Баур, 1779 г.
Ординар Невы у Главного Адмиралтейства за 1850---1865 г., восточный футшток	0,557 0,118 0,110 0,063	1876 1892 1892 1947	Савицкий, 1872---1874 гг. Емельянов, 1900 г. Грибоедов, 1907 г.
Ординар Дестрема (нуль футштока Благовещенского моста)	0,075 0,108 0,114	1892 1892 1892	Гейнц, 1890---1891 г. Сергиевский, 1912 г.
Ординар Невы	0,137	1892	Иванин, 1909---1910 г.

Для характеристики исходных уровней р. Невы (как, впрочем, и других исходных уровней) необходимо рассмотреть привязанные к ним нивелирные работы. Сюда относятся нивелировки 1779, 1872, 1890, 1900, 1909 годов. Можно отметить, что к настоящему моменту в городе сохранилось более 150 марок нивелировки 1872 года, а также таблички с отметками наиболее интенсивных наводнений, которые также подвергаются нивелировкам. Сравнивая текущие значения высот марок с результатами ранее проведенных наблюдений, можно судить о деформациях и скоростях их развития за довольно значительный отрезок времени.

Уровень Балтийского моря по В.Е. Фусу. В.Е. Фусом были определены четыре средних значения уровня Балтийского моря для разных отрезков времени [16, 17]. Из них практическое применение получил средний уровень по Кронштадтскому футштоку за период 1841---1895 годов. Уровень Балтийского моря по Фусу за данный период наблюдений оказался на 23,4 мм ниже нуля Кронштадтского футштока.

Можно отметить, что в качестве нуля данный уровень был впервые применен в 1907 году при известной нивелировке между вокзалами города, выполненной Ф.Ф. Витрамом [2]. Тогда за исходный пункт была принята марка МПС, заложенная Витрамом в 1892 году в здании Балтийского вокзала. Ее высота относительно данного уровня Балтийского моря составила 5,4032 м. Впоследствии она являлась главной маркой для осуществления нивелировок в городской черте. Но после 1907 года указанный уровень Балтийского моря в качестве нуля нивелировок не применялся. Однако в 1927 году уровень Балтийского моря по Фусу для периода 1841---1895 годов [17] был принят в качестве нуля нивелировок Северным окружным геодезическим управлением. Выбор данного условного уровня в качестве нуля нивелировки города объяснить трудно, поскольку на тот момент уже были опубликованы более точные данные [18, 19] о среднем уровне Балтийского моря по Фусу за 70-летний период (по 1910 году). Кроме того, предыдущая нивелировка города, выполненная Сергиевским в 1911 году, была привязана к условному уровню Рыльке и к тому времени по итогам двух геодезических совещаний было решено на всей территории страны использовать в качестве нуля нивелировки нуль Кронштадтского футштока [15, 16].

Использование уровня Балтийского моря по Фусу за период 1841---1895 годов [17] в нивелировках города продолжалось до 1953---1956 годов с поправкой к нуль-пункту Кронштадтского футштока минус 23,4 мм. С 1953 по 1974 год такой подход получил распространение с некоторыми изменениями, действующими на территории, административно

подчиненной городу. В 1953---1956 годах Трестом ГРИИ на территории г. Ленинграда и его лесопарковой зоны осуществлялась нивелировка 1-го и 2-го разрядов [13], по результатам которой поправка для перехода от среднего уровня Балтийского моря по Фусу для 1841---1895 годов возросла в 3 раза и составила уже 70 мм. Изменившаяся величина привязки нивелировки (минус 70 мм) получила отражение во всех каталогах нивелирных пунктов (за период 1953---1974 годов).

С введением поправки величиной 47 мм средний уровень Балтийского моря по Фусу для 1841---1895 годов [17] оказался поднятым над уровнем главной марки МПС Витрама на Балтийском вокзале [3]. Фактически новая система отсчета была искусственно подведена под уровень нивелировки конца 1940-х годов, и в частности под уровень главной марки МПС Балтийского вокзала. Однако вся поверхность города за рассматриваемый период нивелировок не могла получить столь значительной осадки (47 мм) за достаточно короткий период.

Отличительной особенностью новой нивелировки 1953 года являлось то, что использовалось 14 пунктов опорной нивелирной сети (фундаментальные реперы и марки I класса), точность определения высот которых была проверена контрольными ходами ГРИИ I разряда. При производстве же городских нивелирных работ до 1953 года использовался, как правило, лишь один исходный пункт -- ординар/высечка либо марка МПС на Балтийском вокзале (1911---1940 годов нивелирования), которые привязывались к нулю Кронштадтского футштока.

Сдвиг системы отсчета нивелирной сети города мог быть обусловлен как осадкой одного из пунктов опорной сети или ошибками нивелирования, так и погрешностями при уравнивании полигонов (в этом случае ошибки нивелирования и уравнивания могут находиться в допустимых пределах).

Искусственное подведение систем отсчета во всем городе фактически под главную нивелирную марку (на тот период) должно было бы логично отразиться и на условном сдвиге уровня нуль-пункта Кронштадтского футштока, чего сделано не было. Таким образом, вместе со сдвигом систем отсчета относительно нуля Кронштадтского футштока были сдвинуты и отметки всех нивелирных марок в городской черте. Новая система отсчета, введенная Трестом ГРИИ в 1953 году, в которой были вычислены все высотные отметки города, по существу, являлась местной системой 1953 года [13, 19]. В ней были осуществлены и последующие нивелирные работы начиная с 1966---1968 годов.

В техническом отношении введенную в нивелирную сеть поправку 47 мм можно считать незначительной и не приводящей к каким-либо проблемам в строительной и коммунальной (инженерной сети) сферах города. По существу, эта поправка являлась виртуальной, поскольку отметки геодезических марок в действующей на тот период системе Фуса не изменились. Введение этой поправки можно отследить и в историческом плане. Известно, что городская нивелирная сеть из системы Фуса (1841---1895 годов) была трансформирована в Балтийскую систему высот 1942 года лишь спустя более 30 лет (в 1974 году). Только с выходом нового каталога, выпущенного Трестом ГРИИ в 1978 году, высоты нивелирования были привязаны к нулю Кронштадтского футштока с учетом данной величины виртуальной поправки на сдвиг систем (после оценки результатов нескольких нивелирных связей геодезических пунктов Ломоносовского берега с контрольными пунктами на территории города). Основными причинами введения рассматриваемой поправки в нивелирную сеть города явилось принятие новых исходных пунктов нивелировки. Также на введение поправки могли оказать влияние результаты уравнивания сети.

Но для построения графиков осадок зданий в городской черте сдвиг систем отсчета на 47 мм является весьма существенным и его необходимо учитывать.

Балтийско-Черноморский уровень по С.Д. Рыльке и средний уровень Балтийского моря по Л.Ф. Рудовицу. Для обоснования принятия нуля нивелировок в масштабе всей страны С.Д. Рыльке предложил использовать вычисленный им средний уровень Балтийского, Черного и Азовского морей. При оценочных вычислениях Рыльке предположил, что средние уровни морей должны находиться на одной уровенной поверхности [11, 19]. Для своих вычислений Рыльке использовал данные наблюдений по 11 футштокам на вышеупомянутых трех морях. Кроме того, отметки высот данных нивелирных пунктов были привязаны к нулю Кронштадтского футштока,

что позволило впоследствии вычислить превышение среднего уровня Балтийского моря над условным Черноморо-Азовским. Оно составило практически 85 см. Эта величина оказалась значительной вследствие существенных среднеквадратических ошибок в значениях разностей высот, что и позволило Рыльке произвести оценку среднего уровня по всем уровнемерным пунктам.

Средний уровень Балтийского моря по Рыльке за период 1841---1890 годов оказался на 35 мм ниже нуля Кронштадтского футштока. Данный уровень как исходный широко применялся в конце XIX и начале XX века в России. Относительно него вычислялись высоты геодезических пунктов не только в Санкт-Петербурге и его окрестностях, но и в общегосударственной нивелирной сети всей страны [10]. Так, в 1894 году было выполнено первое уравнивание всей русской нивелирной сети (за период нивелирных работ 1871---1893 годов), хотя из результатов более поздних нивелировок (1916---1934 годов) стало очевидным, что принятие для основных вычислений равенства средних уровней Балтийского и Черного морей является ошибочным.

Наиболее известна городская нивелировка, выполненная от среднего Балтийско-Черноморского уровня профессором Сергиевским в 1911 году [4, 5, 14]. Использование данного уровня в качестве исходного фактически позволило осуществить связь нивелирной сети города с общегосударственной. В последний раз он использовался как исходный в начале 30-х годов прошлого века для нивелировки южной части Финского залива и Ленинградской области.

Балтийско-Черноморский уровень постепенно утратил свое значение. Так, в конце 20-х годов прошлого века по решению Первого и Второго геодезических совещаний в качестве исходного пункта всей сети Советского Союза был принят нуль Кронштадтского футштока [15, 16]. Было также принято решение о вычислении высот Ленинградской нивелирной сети относительно среднего уровня Балтийского моря по Фусу за период 1841---1895 годов.

Последним средним уровнем Балтийского моря, который, впрочем, не получил широкого распространения при производстве нивелирных работ, являлся его средний уровень за 1841---1913 годы по Л.Ф. Рудовицу. Он располагался ниже нуля Кронштадтского футштока на 15 мм и служил исходным для нивелировок начала 20-х годов прошлого века, произведенных преимущественно на территориях городского порта.

Можно отметить достаточно сложную временную картину использования исходных пунктов нивелировок и множества исходных уровней, как имеющих физическое закрепление, так и виртуальных/условных. Зачастую соотношения между этими уровнями, определенные исследователями в разное время, оказывались различными (к примеру, нуль нивелировки Савицкого и результаты дальнейшей трансформации нивелирной сети города на основе нивелирной связи 1947, 1953 годов для марки МПС Витрама на Балтийском вокзале, которая была главной для города в тот период). Принятие в качестве исходных уровней различных систем исходных пунктов значительно усложняло проведение нивелировок и последующий анализ их результатов. Поэтому было совершенно закономерным приведение в 1974 году всех городских нивелировок к единому исходному уровню -- нуль-пункту Кронштадтского футштока, который к тому времени являлся исходным пунктом всей нивелирной сети страны, (а до 1974 году он фрагментарно использовался в нивелировках городской и пригородной сети).

Рассмотрев основные исходные пункты нивелировок, выполнявшихся в городе и его окрестностях фактически до середины 30-х годов прошлого века, можно составить обобщенную схему основных соотношений между применявшимися исходными уровнями (рис. 1, табл. 2). Элементы подобной схемы содержатся в большинстве геодезических отчетов различных организаций о выполненных нивелировках города [13 и др.]. Подобная схема приведена также в работе С.Н. Шабарова [19], посвященной исследованию Ленинградской нивелирной сети.

Табл. 2.

Соотношения между различными исходными уровнями отсчета

Исходный пункт отсчета	Превышение над НКФ*, м
Нуль Кронштадтского футштока (НКФ)	H_0
Средний уровень Балтийского моря по Фусу за 1841---1895 гг.	H_1 - 0,0234
Средний уровень Балтийского моря по Рыльке за 1841---1890 гг.	H_2 - 0,035
Условный уровень Балтийского моря по Фусу -- местная система 1953/1956 гг.	H_3 - 0,07
Ординар р. Невы за 1850---1865 гг.	H_4 + 0,109

* H_0; H_1; H_2; H_3; H_4 -- абсолютные отметки геодезического знака, привязанные соответственно к нулю Кронштадтского футштока, среднему уровню Балтийского моря по Фусу за 1841---1895 гг., среднему уровню Балтийского моря по Рыльке за 1841---1890 гг., условному уровню Балтийского моря по Фусу (местной системы 1953 г.), ординару р. Невы (1850---1865 гг.).

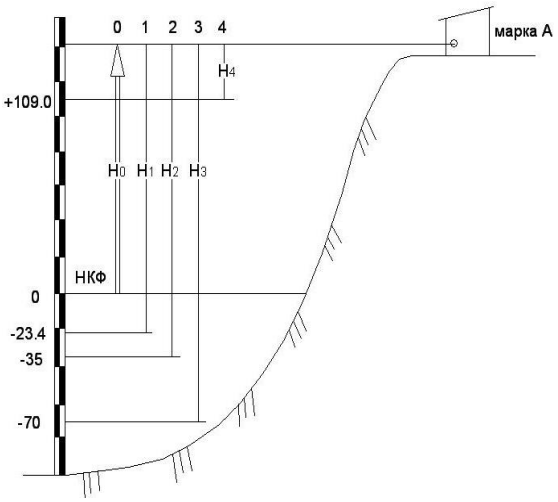

Рис. 1. Схема основных соотношений (мм) между различными исходными уровнями, использованными при нивелировке города [13, 19]. НКФ -- нуль Кронштадтского футштока. Значения на шкале приведены в миллиметрах. H_0; H_1; H_2; H_3; H_4 -- см. примечание к табл. 2

Привязка к единому уровню

Используя привязки соответствующих исходных уровней нивелировок города в различные исторические периоды, можно выполнить привязку результатов нивелирных работ к любому уровню, например к современному (нулю Кронштадтского футштока). Однако для оценки развития возможных осадок нивелирных пунктов необходимо учитывать не только соотношения исходных уровней, но и результаты связи городских нивелировок с Кронштадтским футштоком [19].

Следует отметить, что высоты пунктов нивелирования, которые определялись повторно, оказываются зависимыми от различных факторов. При этом основное внимание требуется обратить на следующее:

- различия систем высот (нормальной и ортометрической);
- различные исходные пункты основных нивелировок;
- различные результаты связи нуля Кронштадтского футштока с материком, а также с основными марками в городской черте;
- принятие различных исходных пунктов для уравнивания сети;
- ошибки нивелирования;

- погрешности уравнивания;
- трансформация нивелирной сети.

На сегодняшний день в городской нивелирной сети используются знаки различных нивелировок. Особый интерес представляют знаки устройства 1870---1872, 1909, 1911, 1927---1932, 1953---1956 годов, поскольку результаты нивелирных работ позволяют построить графики длительных осадок зданий.

При построении графиков осадок геодезических пунктов необходимо учитывать не только исходные пункты нивелирных работ, но и так называемые нивелирные связи (НС), которые характеризуют связь нуля Кронштадтского футштока с Ломоносовским берегом, а также с главными городскими марками и реперами. Коротко упомянем наиболее значимые НС, которые повлияли на значения высот геодезических пунктов.

Для привязки нивелирных работ конца XIX -- начала XX века используются результаты нивелирной связи Ф.Ф Витрама 1892 года. Фактически привязку по данной НС можно производить для всех городских нивелировок 1872---1947/1953 годов. Для привязки нивелирных работ с 1947 года по настоящее время нужно использовать результаты НС 1947 года. Влияние остальных нивелирных связей для приведения высот оказывается незначительным.

Величины поправок для построения графиков осадок отдельных пунктов при переходе от городских нивелировок 1953 года к последующим нивелирным работам были определены для территории города С.Н. Шабаровым [19]. Данные поправки были дифференцированы по отдельным районам и пригородам. Их полученные величины для городской нивелирной сети приведены в табл. 3. Можно заметить, что по представленным в ней результатам средняя поправка на сдвиг систем для нивелировок с 1953 года до настоящего момента составит около 49 мм. Данная величина оказывается достаточно близкой к 47 мм. При этом наибольшие величины поправок наблюдаются для центральной части города, а также для Васильевского острова и составляют 56 и 57 мм соответственно. Для пригородов величина поправки составляет до 33 мм, для проспекта Обуховской Обороны -- 35 мм.

Табл. 3.

Переходные величины высот нивелирных пунктов для различных районов города с нулем Кронштадтского футштока для нивелирной связи 1947/1953 гг. [19]

Район		Величина поправки, мм
Территория города	Васильевский остров	57,37 ± 2,28
	Центральная часть города	56,12 ± 2,25
	Петроградский, Аптекарский, Петровский, Крестовский острова, Выборгская сторона	47,56 ± 2,28
	проспект Обуховской Обороны	35,33 ± 2,73
Пригородная зона		33,00 ± 2,47

При выводе величин рассмотренных (см. табл. 3) поправок геодезических пунктов в городской черте для нивелирной связи 1947/1953 годов С.Н. Шабаров определил средние разности высот части геодезических пунктов, полученных при нивелировках города в 1932 и 1953---1956 годах. Для проведения данного анализа (для территории города в границах до 1972 года) были использованы соответствующие результаты нивелировок марок, заложенных в основном в 1911 году (при нивелировке профессора Сергиевского). Для вывода приведенных в табл. 3 поправок для нивелирной сети были использованы результаты нивелировок 78 марок. Очевидно, что их вывод является весьма условным и не совсем точным, так как для всех районов города было использовано менее 80 марок. Так, например, для вывода соответствующей поправки для

проспекта Обуховской Обороны использовалось всего три марки. Кроме того, в полученные величины поправок будут входить собственные осадочные деформации зданий, на которых и размещены геодезические марки. Действительно, приведенные поправки оказываются вычисленными в предположении, что осадок зданий за период с 1932 по 1953 год, то есть более чем за 20 лет, не происходило. Их представленные в табл. 3 дифференцированные для различных районов города значения, по существу, не являются корректными, поскольку включают дополнительные деформации оснований зданий, на которых закреплены марки. К тому же введение данных поправок необоснованно осложнит проведение общего анализа деформаций зданий и сооружений, поскольку потребует дифференцированного построения графиков деформаций как по отдельным районам, так и по отдельным их участкам, улицам.

Для проведения общего анализа деформаций зданий и сооружений в пределах административных границ города до 1956 года целесообразно использовать величину поправки 47 мм, приведенную в техническом отчете Треста ГРИИ о нивелировке I и II классов на территории города и его лесопарковой зоны. Именно с учетом данной поправки (плюс 23 мм за исходный уровень Балтийского моря по Фусу, итого -- 70 мм) и приведены значения высот в городской черте в каталоге 1953---1956 годов [6]. При ее введении графики смещений имеют характерный монотонный вид.

Для целей настоящей работы вопрос о точных границах распределения величин указанной поправки имеет смысл лишь для нивелирных знаков, расположенных в исторически сложившихся районах города в границах до 1956 года, а также для всех геодезических знаков на данной территории, заложенных до 1953---1956 годов. Учет этой величины поправки будет интересен лишь для марок городских нивелировок, заложенных до 1953 года, то есть для марок основных нивелировок -- 1872, 1892, 1900, 1909, 1911, 1927---1932 годов. Для них при построении графиков вертикальных смещений необходимо учитывать рассмотренную величину поправки на сдвиг высот сети, равную 47 мм (на нивелирную связь 1947 года). Для марок, заложенных после указанной даты, нет никакого смысла учитывать поправки сдвига нивелирной системы 1940---1960-х годов.

Для основных городских нивелировок целесообразно построить диаграмму их привязки к единой системе, учитывая их особенности, исходные пункты, наличие различных нивелирных эпох, отражающих результаты связи нуля Кронштадтского футштока с материком и главными марками этих нивелирных работ. Поскольку последние выполнялись в разное время, целесообразно построить общий график привязки исходных пунктов нивелирной сети во времени. В качестве исходной точки отсчета времени нужно взять 1872 год (когда проводились нивелирные работы капитана Савицкого). Кроме того, для приведения всех городских нивелировок к единому началу на данной диаграмме необходимо отразить влияние различных нивелирных связей. По вертикали будем откладывать привязки основных нивелировок к нулю Кронштадтского футштока (горизонтальной черте на пластине Тонберга).

На рисунке 2 представлена диаграмма привязок основных городских нивелировок в городской черте за период 1872---2003 годов с учетом основных нивелирных связей НКФ с материком и бывшими главными городскими марками. Данная схема справедлива лишь для части территории города в сегодняшних административных границах. Исключение составляют районы, которые ранее составляли лесопарковые зоны города -- Ломоносовский, Пушкинский, Колпинский, Курортный, Петродворцовый районы. Данные районы для автора настоящей статьи были менее интересны, поскольку основной объем исторических зданий преимущественно сосредоточен в центральных районах Санкт-Петербурга. Кроме того, последние оказываются наиболее сложными для строительства вследствие распространения слабых пылевато-глинистых отложений значительной мощности.

Применение данной схемы (см. рис. 2) в отличие от приведенной на рис. 1 является более удобным и достаточно четко отражает кратко рассмотренную эволюцию городской нивелирной сети. При этом необходимо отметить, что на ней отражены лишь основные городские нивелировки и естественно, что ее принятие связано с некоторыми допущениями. Поскольку объем данных по нивелировкам является значительным, как и само количество геодезических знаков, любой, даже

самый простой, анализ такого массива является весьма затруднительным и, безусловно, потребует некоторых упрощений. По мере развития нивелирной сети увеличивались объемы нивелирных работ. Естественно, что данные работы, как правило, проводились в отдельных областях/районах города в различное время. Если учитывать точный год нивелировки того или иного геодезического пункта, то общий анализ данных с учетом временного изменения отметок значительно усложнится и будет достаточно громоздким. Однако если принять, что нивелирные работы выполнялись не за определенный период, а, например, за какой-то год, то комплексный анализ данных значительно упростится. Например, известно, что нивелирные работы в пределах города производились в период 1927---1932 годов. Если просто принять за год нивелировки 1929 год, то возможные неточности при построении графиков осадок для общего анализа будут проявляться в неточности положения отметки той или иной точки вдоль оси времени. Как правило, нивелировки всего объема нивелирных марок в границах города осуществлялись за 3---6 лет. При общем анализе длительных осадок и скоростей смещений можно ожидать, что возможные ошибки от подобных допущений будут незначительными и практически не повлияют на результаты вычислений.

Необходимо также учитывать, какое количество марок конкретной нивелировки присутствует на последних нивелирных съемках. Учет последних нивелирных съемок города позволяет наиболее надежно оценить точность и произвести внутреннюю верификацию результатов измерений. Например, было заложено достаточно большое количество марок и выполнено достаточно много нивелирных наблюдений в 1900, 1909 годах. Однако с течением времени большинство марок по различным причинам было утрачено, и до настоящего времени дошли лишь две из них, которые были заложены в 1909 году (одна из них дублируется более ранней маркой нивелировки периода 1872 года). Количество марок того периода сегодня оказывается весьма ограниченным, и, соответственно, утрачивает всякий смысл отражение тех работ на общей схеме привязок основных городских нивелировок.

Для удобства построения графиков вертикальных смещений отдельных марок необходимо выполнить привязку их высот к определенной нивелирной связи. Строго говоря, построение графиков осадок можно произвести относительно любой нивелирной связи и относительно любого начального уровня (нуль-пункта Кронштадтского футштока, среднего уровня Балтийского моря по Рыльке, среднего уровня Балтийского моря по Фусу). Однако для удобства построения графиков осадок проще сделать привязку к нулю Кронштадтского футштока и первой нивелирной связи (1892 год). Именно по этому принципу и произведено построение схемы привязок основных городских нивелировок за период 1872---2003/2007 годов, приведенной на рис. 2. Используя эту схему, можно легко перевести результаты всех измерений в одну систему и построить график осадок любого геодезического пункта на территориях административных районов города до 1996 года, когда согласно закону территориальными единицами Санкт-Петербурга стали города: Зеленогорск, Колпино, Кронштадт, Ломоносов, Павловск, Петергоф, Пушкин, Сестрорецк, поселки Александровская, Белоостров, Комарово, Левашово, Лисий Нос, Металлострой, Молодежное, Парголово, Петро-Славянка, Понтонный, Репино, Саперный, Серово, Смолячково, Солнечное, Стрельна, Тярлево, Усть-Ижора, Ушково, Шушары.

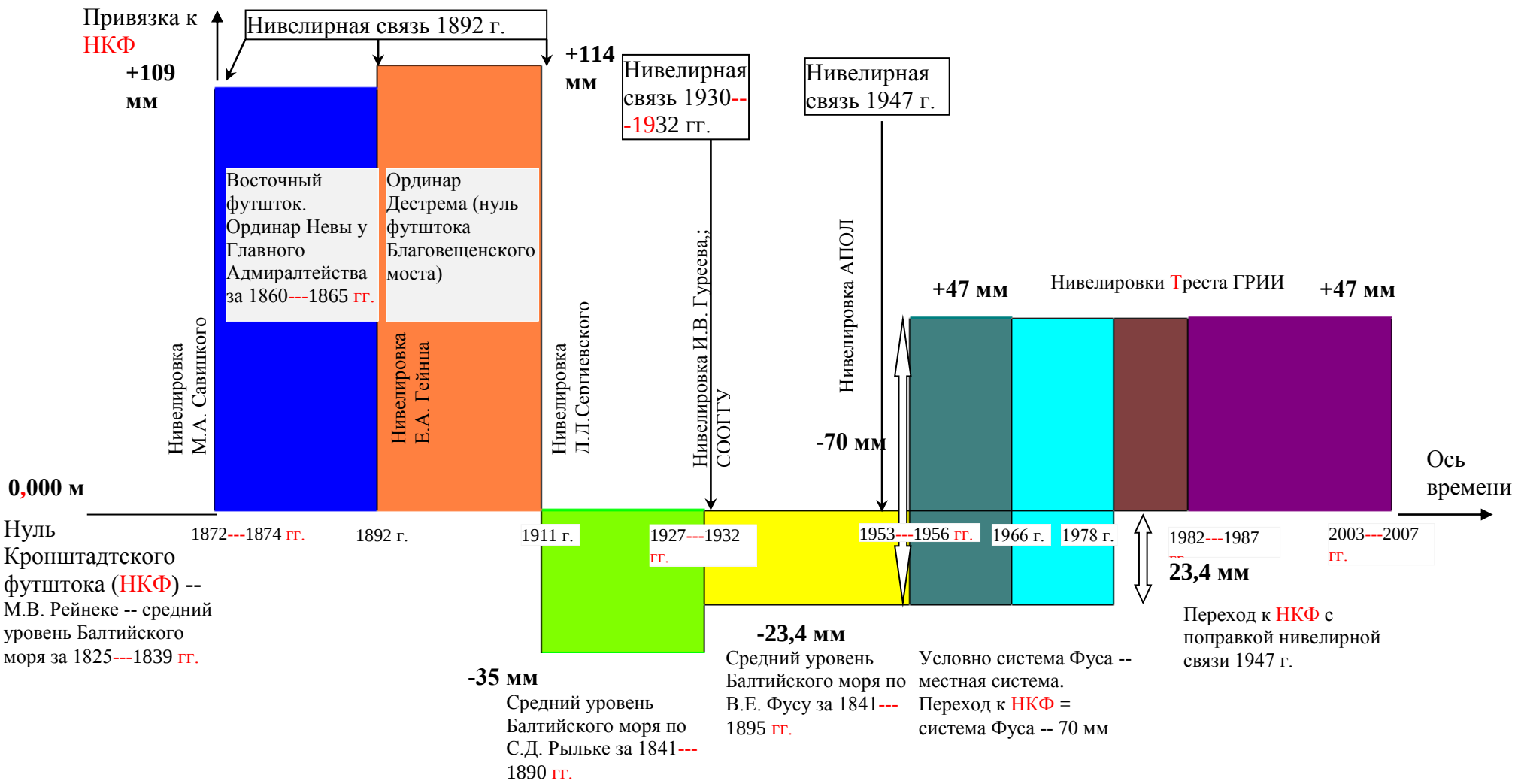

Рис. 2. Схема привязок основных городских нивелировок за период 1872---2003/2007 гг. (для нивелирной связи 1892 г.)

Для анализа длительных осадок зданий исторической застройки и с целью верификации имеющихся результатов измерений будем рассматривать осадки геодезических пунктов различных нивелировок на разных отрезках времени (сообразно этапам развития и реконструкции нивелирной сети города).

Общий анализ результатов оценки длительных осадок зданий исторической застройки может быть осуществлен в хронологическом порядке нивелирных работ (то есть по строкам матрицы абсолютных отметок геодезических знаков нивелирной сети). Первая нивелировка, марки которой присутствуют в нивелирной сети, была выполнена капитаном Савицким в 1872---1874 годах.

По результатам проведенной верификации были построены графики развития осадок 66 марок. На рисунках 3---6 приведены ***графики развития осадок зданий Адмиралтейства, Государственного Эрмитажа, дома № 28 на Дворцовой набережной и Михайловского театра за 131 год.*** Подобные графики были построены в хронологическом порядке и для остальных строк матрицы абсолютных отметок городской нивелирной сети (рис. 7 для 1911---2003 годов), что позволило осуществить общий численный анализ результатов и произвести основные верификационные процедуры.

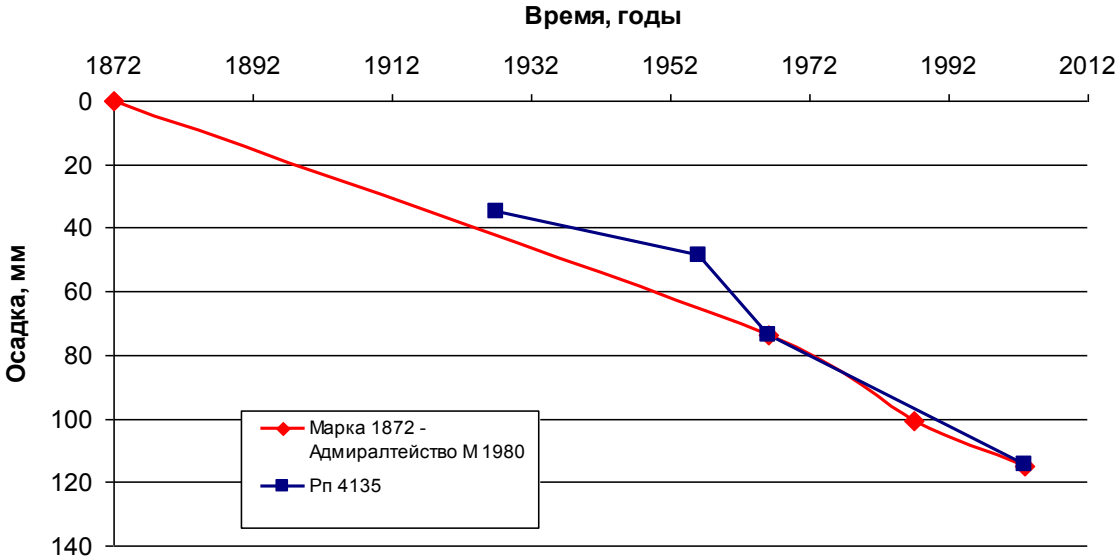

Рис. 3. Сопоставление графиков развития осадок (мм) северо-восточной стены (со стороны бывшего Республиканского проезда) здания Адмиралтейства и репера № 4135, расположенного вблизи марки Савицкого № 1980

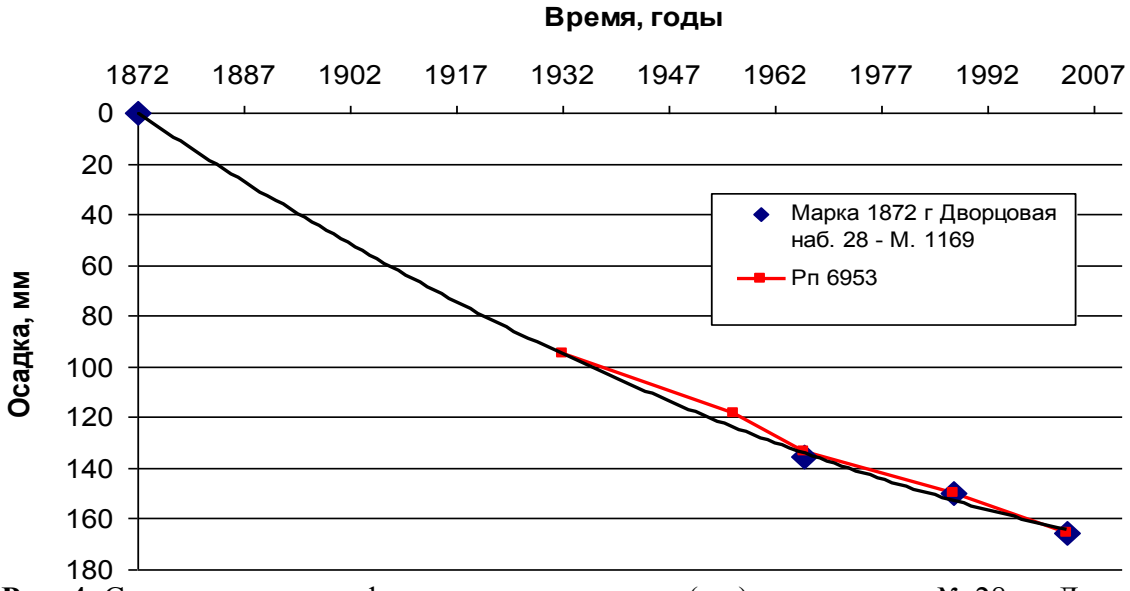

Рис. 4. Сопоставление графиков развития осадок (мм) здания дома № 28 на Дворцовой набережной и репера № 6953, расположенного вблизи марки Савицкого № 1169

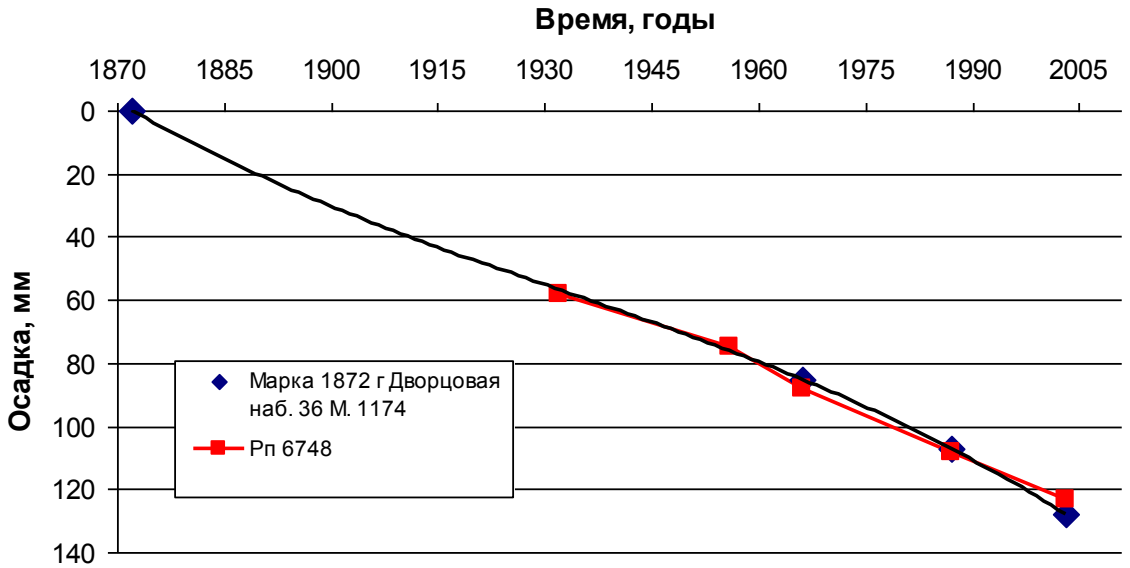

Рис. 5. Сопоставление графиков развития осадок здания Государственного Эрмитажа (д. № 36 на Дворцовой набережной) и репера № 6748, расположенного вблизи марки Савицкого № 1169

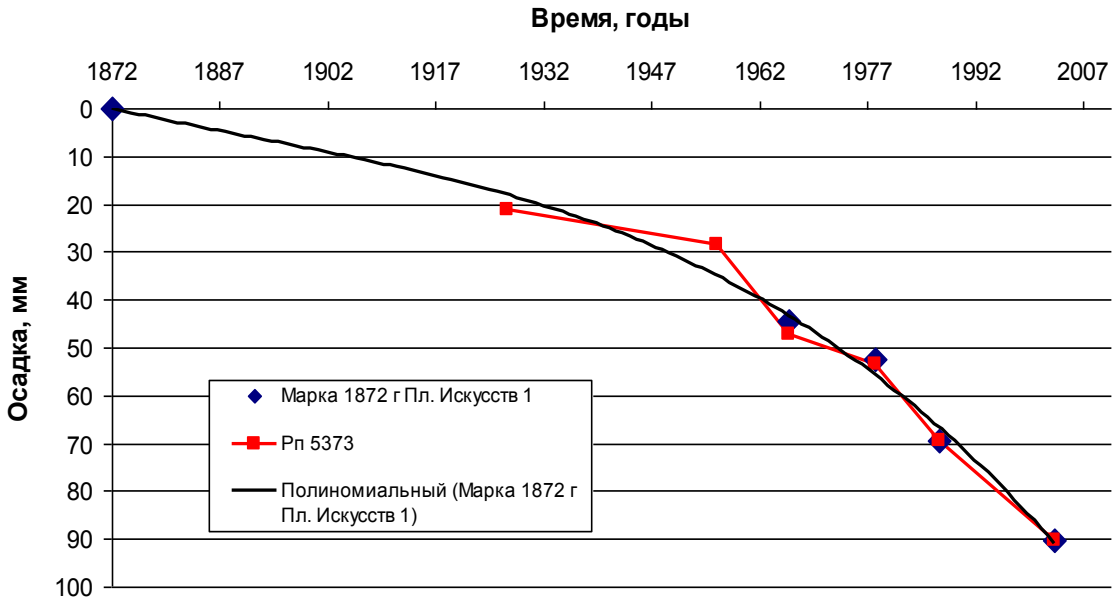

Рис. 6. Сопоставление графиков развития осадок здания Михайловского театра (д. № 1 на площади Искусств) и репера № 5373, расположенного вблизи марки Савицкого № 2109

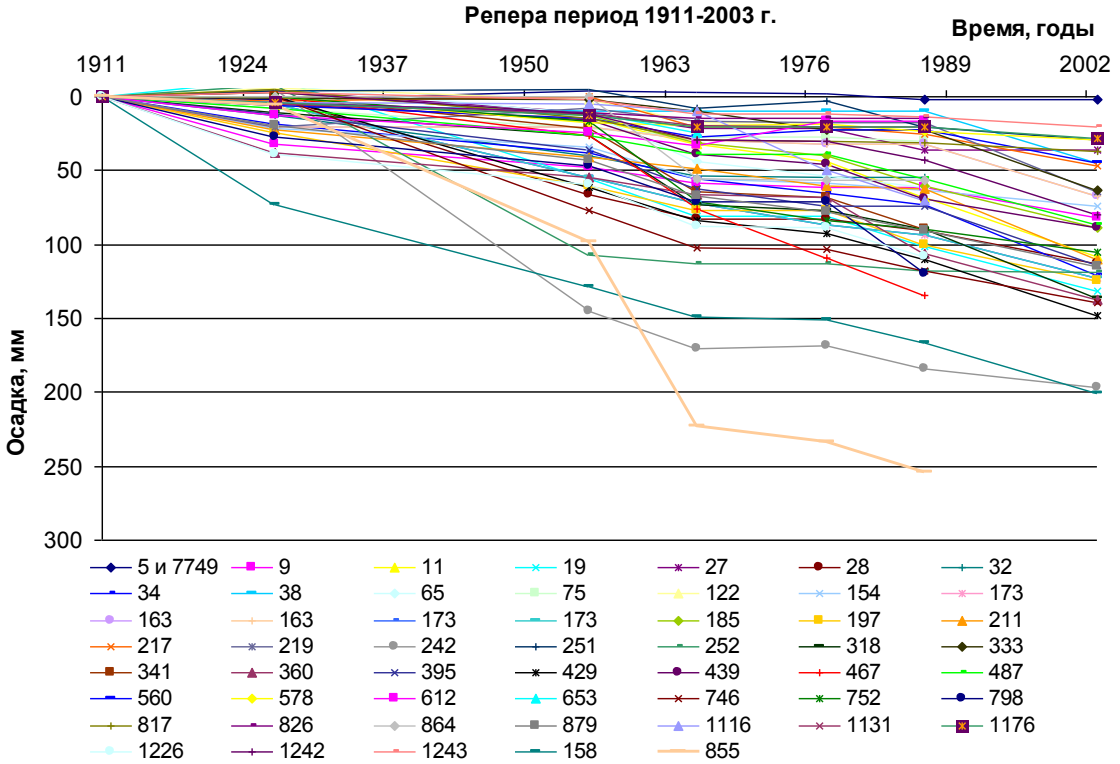

Рис. 7. Графики развития осадок зданий за период 1911---2003 гг. (полная выборка из сети)

Имеющиеся на сегодняшний день результаты повторных нивелирных работ в городе целесообразно трансформировать в кривые осадок (без потери конфиденциальности значений абсолютных отметок), положив тем самым начало созданию ***городской геотехнической базы данных***, что и было фактически предложено в настоящей работе. Необходимость применения такой базы в строительных целях совершенно очевидна для проведения следующих работ.

1. Обследование зданий. Графики развития осадок зданий за последние 20---130 лет будут чрезвычайно полезны при оценке причин возможных деформаций, а также при установлении категории технического состояния зданий и условий работы их оснований.

2. Мониторинг зданий. Графики развития осадок зданий даже за последние 15---25 лет помогут в выборе исходных геодезических пунктов мониторинговых наблюдений, а также в оценке накопленных собственных деформаций окружающей застройки, например, при производстве строительных работ.

3. Разработка геотехнического обоснования проекта строительства. В этом случае новый смысл приобретает пункт 8.8 ТСН 50-302-2004 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге».

4. Ретроспективный анализ сложившейся геотехнической ситуации. Такой анализ предусматривает оценку степени завершенности осадок окружающей застройки и оценку накопленных деформаций объекта (с учетом природных и техногенных факторов). Последнее требование расчетным путем выполнить практически невозможно.

5. Проектирование реконструкции зданий. Графики развития осадок зданий помогают обосновать принятые мероприятия по усилению их оснований.

6. Разработка реологических моделей грунтовой среды. Материалы о скоростях развития осадок будут крайне важны для оценки реологических параметров грунтовых моделей.

7. Обоснование возможного демонтажа отдельных конструкций исторических зданий. Графики развития осадок позволяют обосновать необходимость демонтажа отдельных конструкций здания или отсутствие таковой.

8. Выбор мест размещения глубинных фундаментальных реперов на территории города для сохранения высот нивелирной сети. Распределение экстремальных скоростей осадок по территории города вследствие его застройки и устройства подземных сооружений будет определяющим фактором для выбора мест устройства фундаментальных реперов.

Заключение

На основе указанной геотехнической базы развития осадок целесообразно создать ***единый мониторинговый интерактивный центр***, куда будет стекаться и впоследствии обобщаться вся информация о развитии осадок городской застройки при проведении общестроительных работ. Вся информация данной базы должна быть интерактивной и открытой для любого интернет-пользователя.

Создание единой интерактивной базы мониторинга позволит:

- задействовать механизмы саморегулирования на строительном рынке;
- оценить работу заказчиков строительства по подготовке проекта;
- оценить правильность выбора инженерных решений проектных организаций;
- оценить работу подрядных организаций по возведению/реконструкции объекта;
- оценить возможность применения новых технологий и геотехнические риски;
- оценить страховые риски работы тех или иных проектных и подрядных организаций;
- повысить качество подготовки проектов и строительства.

Создание такого единого государственного мониторингового центра для города с большим количеством объектов культурного наследия просто необходимо для их сохранения, а также будет полезно структурам МЧС, органам Госархстройнадзора, Росохранкультуры и администрации города.

На основе созданной геотехнической базы данных целесообразно выявить полный перечень исторических зданий, которые накопили за последние 50---70 лет значительные осадки (более 30---

40 см), и выполнить комплексное обследование их надземных конструкций, фундаментов и оснований. Также представляется целесообразным дополнительное размещение геодезических пунктов нивелирной сети на основных городских памятниках архитектуры.

Список литературы

1. *Васенин В.А.* Кронштадтский футшток и современные вертикальные движения земли в Санкт-Петербургском регионе // Инженерные изыскания. 2012. № 5. С. 40---51.
2. *Витрам Ф.Ф.* Нивелировка 1907 г. между Балтийским, Варшавским, Царскосельским и Николаевским вокзалами в Санкт-Петербурге и определение падения Обводного канала // Журнал отдела статистики и картографии МПС. СПб., 1909. № 11.
3. *Витрам Ф.Ф.* Нивелировка между Кронштадтом и Санкт-Петербургом // Записки по гидрографии. СПб., 1894. Вып. 15.
4. Каталог марок нивелировок г. Санкт-Петербурга. Часть 1. В порядке номеров марок. СПб.: Изд-во городской исполнительной комиссии по сооружению канализации и переустройству водоснабжения г. Санкт-Петербурга, 1912.
5. Каталог марок нивелировок г. Санкт-Петербурга. Часть 2. В алфавитном порядке улиц. СПб.: Изд-во городской исполнительной комиссии по сооружению канализации и переустройству водоснабжения г. Санкт-Петербурга, 1914.
6. Каталог высот нивелирных знаков, расположенных на территории г. Ленинграда, показанных в порядке возрастания номеров. Система высот: уровень Балтийского моря по Фусу. Л.: Изд-во Треста ГРИИ, 1956.
7. *Лившиц И.М.* О результатах повторных нивелирований на территории Ленинграда. Состояние уровнемерных наблюдений и проблема Кронштадтского футштока. М. Изд-во Международного геофизического комитета, 1986. С. 64---65.
8. *Мордухай-Болтовской А.И.* Исследование гидрометрических материалов реки Невы. Ч. 1 / под ред. Е.И. Иогансона // Материалы по гидрологии, гидрографии и водным силам СССР. Вып. 15. Серия 1. Сведения об уровнях воды и гидрометрическая сеть. Л.-М.: Госэнергоиздат, 1932. 264 с.
9. *Мордухай-Болтовской А.И.* Уровни некоторых Ленинградских наводнений XVIII и начала XIX века // Известия Государственного гидрологического института. Л., 1932. № 48. С. 14---35.
10. *Рыльке С.Д.* Каталог высот русской нивелирной сети с 1871 по 1893 г. СПб.: ВТО ГШ, 1894.
11. *Рыльке С.Д.* Средний уровень Балтийского, Черноморского и Азовского морей // Записки ВТО ГШ. Ч. 53. Геометрические нивелировки ВТО ГШ. СПб., 1895. Вып. 3.
12. *Савицкий М.А.* План части города Санкт-Петербурга между р. Б. Невою и Обводным каналом, снятым в 1872 г. Масштаб: в английском дюйме 25 сажен. На 38 листах. СПб.: Изд-во Городской управы, 1876.
13. Технический отчет о нивелировке 1-го и 2-го разрядов, произведенной в 1953---1956 гг. на территории г. Ленинграда и лесопарковой зоны. Л.: Изд-во Треста ГРИИ, 1956.
14. *Тихобразов Н.Н.* Отчет о нивелировке г. Санкт-Петербурга 1911 г. Петроград: Изд-во исполнительной комиссии по сооружению канализации и переустройству водоснабжения в г. Санкт-Петербурге, 1914.
15. Труды второго геодезического совещания / под ред. Ю.М. Шокальского, А.А. Михайлова. М.: Планхозгиз, 1930.
16. Труды первого геодезического совещания / под ред. Ю.М. Шокальского, А.А. Михайлова. М.: Плановое хозяйство, 1927.
17. *Фус В.Е.* Средний уровень моря у Кронштадта по наблюдениям с 1841 по 1895 г. // Записки по гидрографии. СПб., 1896. Вып. XVII.
18. *Фус В.Е.* Средний уровень моря у Кронштадта по наблюдениям с 1841 по 1910 г. // Записки по гидрографии. СПб., 1911. Вып. 32.
19. *Шабаров С.Н.* Нивелирные сети Санкт-Петербурга -- Ленинграда: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: Изд-во МИИГАиК, 1972.

20. *Шабаров С.Н.* Современные вертикальные движения земной поверхности в районе Ленинграда. Состояние уровнемерных наблюдений и проблема Кронштадтского футштока. М.: Изд-во Международного геофизического комитета, 1986. С. 65---72.

Выходные данные: Журнал «Инженерные изыскания», №4/2013, С. 44-53